

すべり耐力試験の試験実施時期とすべり係数算定軸力の提案

鉄道・運輸機構 正会員 南 邦明

1. はじめに

ボルト継手の指針類¹⁾²⁾³⁾において、リラクセーションによる軸力低下を考慮し、表1に示すすべり耐力試験の実施時期およびすべり係数を算定するためのボルト軸力が示されている。ただし、考え方は指針により異なっている。本研究は、既往のリラクセーション試験結果を調査し、その特性を明確にした上で、すべり耐力試験の試験実施時期およびすべり係数算定軸力を提案することを目的とした調査研究である。

2. リラクセーション試験の調査方法

調査は、著者らが実施したリラクセーション試験^{4)~9)}および既往の研究成果^{10)~15)}を対象に行った。リラクセーション試験は一般に1週間を超えて実施されるが、ここではすべり耐力試験の試験実施時期を考察するため、48時間までのデータを調査した。調査は、塗装面（無機ジंक）、粗面（ブラスト）およびさび面（自然さび、薬品さび）を対象とした。調査条件として、一般の2面摩擦継手、ボルト長は75~100mmのF10T、塗装膜厚は目標膜厚75 μ mとした。リラクセーションによる軸力低下の評価方法として、接触面毎に経過時間と軸力残存率をプロットし、その結果から回帰直線を求め、これを用いて接触面の違いを考慮した経過時間毎の評価値を比較した。調査したデータ数量は、無機ジंक、ブラスト、自然さび、薬品さびでそれぞれ145, 28, 28, 16である。

3. リラクセーション試験の調査結果

(1) **無機ジंकの調査結果** 無機ジंकの調査結果を図1に示す。縦軸は測定した軸力を初期ボルト軸力で無次元化した軸力残存率を示し、横軸には経過時間を対数で示し、データ数量が多いので3つの図に分けて示している。図中には最小二乗法で近似した回帰直線（145 データで近似）を示しており、この回帰直線で求めた時間毎の評価値を表2（その他の接触面の評価値も記載）に示す。回帰直線から得られた評価値は、30分後には96.5%となり24時間後(93.3%)の約半分はこの時点までの軸力低下である。その後は表示した各時間(1,2,3,6,12,24h)において約0.5%ずつ軸力は低下し、12時間後と24時間後ではそれぞれ93.9%, 93.3%であり、これらの差は小さく、12時間後あるいは24時間後にすべり耐力試験を実施しても、試験結果に与える影響は少ないと考えられる。

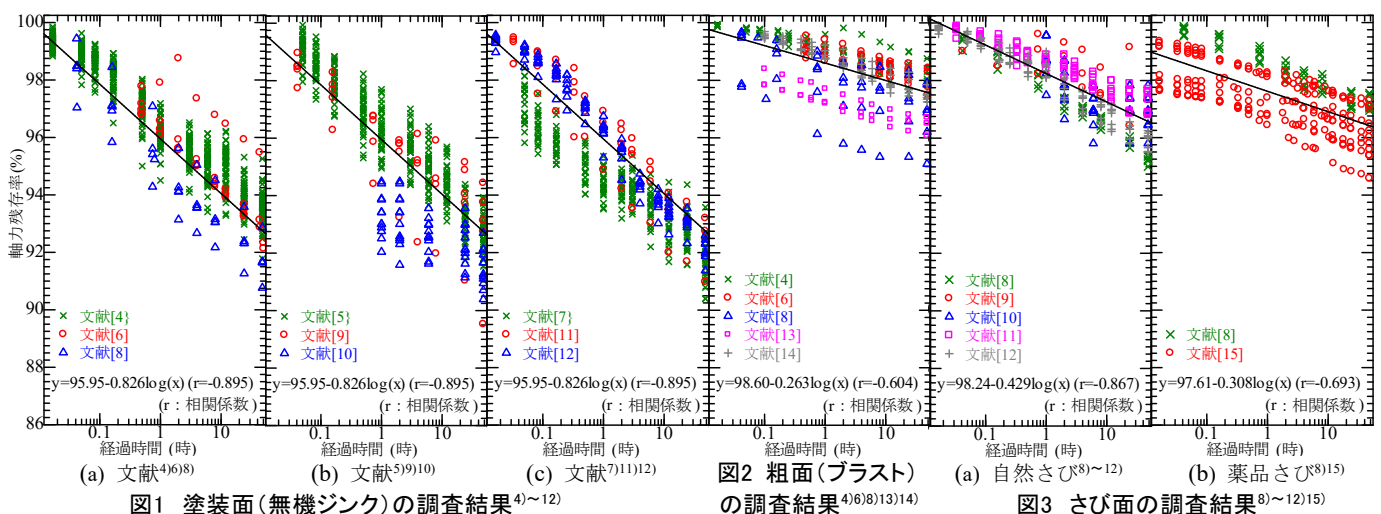
(2) **ブラストの調査結果** ブラストの調査結果を図2に示す。ブラスト面の軸力残存率は無機ジंक面より高く、後に示すさび面と比べても軸力低下が小さかった。30分後の評価値（表2）は98.8%であり、その後は表示した各時間において0.1%もしくは0.2%ずつ軸力は低下し、12時間後と24時間後ではそれぞれ97.9%, 97.8%となり、両者に違いはなかった。リラクセーションによる軸力低下の大きな要因は、接触面のクリープの影響である。これは、ボルト締付けにより接触面がクリープ変形を起こし（押しつぶされ）、ボルト締付け長が極微量であるが短くなることで軸力が低下する。そのため、接触面の仕様により軸力低下特性が異なる。ブラスト面では、接触面のクリープはほとんど生じないこともあり、軸力低下が抑えられたものと考えられる。

表1 指針類の比較

規定項目	土木分野 ¹⁾	建築分野 ^{2),3)}
すべり試験	ボルト締付け	ボルト締付け
試験実施時期	12時間以降	24時間以降
すべり係数算定軸力	設計ボルト軸力	導入ボルト軸力

表2 回帰直線による軸力残存率の評価値

表面処理		軸力残存率 評価値(%)						
		0.5h後	1h後	2h後	3h後	6h後	12h後	24h後
塗装	無機ジंक	96.5	96.0	95.4	95.0	94.5	93.9	93.3
粗面	ブラスト	98.8	98.6	98.4	98.3	98.1	97.9	97.8
さび	自然さび	98.5	98.2	97.9	97.8	97.5	97.2	96.9
	薬品さび	97.8	97.6	97.4	97.3	97.1	96.8	96.6



キーワード：高力ボルト継手、すべり試験、試験実施時期、ボルト軸力、リラクセーション

連絡先：〒060-0002 札幌市中央区北2条西1-1 鉄道・運輸機構 北海道新幹線建設局 TEL 011-231-3499

(3) さびの調査結果 さび面の調査結果を図3に示す。図3(a)に示す自然さびの評価値(表2)は、30分後には98.5%、その後は各時間において0.3%(3時間後を除く)ずつ低下し、12時間後と24時間後ではそれぞれ97.2%、96.9%となった。24時間後の評価値は無機ジンク面より3.6%高く、ブラストよりは約1%低かった。図3(b)に示す薬品さびの軸力低下は、自然さびと比較しても大きな違いはなく、ばらつきの範囲と考えるのが妥当である。なお、著者らが実施した文献8)では、若干ではあるが薬品さびの方が軸力残存率は高かった。これは、自然さびと比較すると、薬品さびの表面粗さ(Ra)は $3.59\mu\text{m}$ と自然さび($6.47\mu\text{m}$)より小さく、また、薬品さびは数日でさびを発生させるので、さび厚は $19.8\mu\text{m}$ と自然($59.8\mu\text{m}$)より小さかったこともあり、ボルト締付けによるクリープの影響が低く、軸力低下が小さくなったものと考えられた。さび面における軸力残存率は、さび厚や表面粗さ等、さびの発生状況により軸力残存率に差が生じるものと考えられるが、本調査では自然さびと薬品さびに違いは見られなかった。

4. すべり耐力試験の試験実施時期とすべり係数算定軸力の提案

(1) 時間毎の軸力低下とそのばらつき 試験実施時期を検討するため、図1で示したデータを再整理し、時間毎の軸力低下とそのばらつきを示すこととした。調査は、軸力低下あるいはばらつきが大きい無機ジンクを対象とし、表2で示した時間(0.5, 1, 3, 6, 12, 24h)の間の軸力残存率の差(以下、残存率差)を示すものとし、パーセントポイント%ptで表示した。ただし、すべての試験でこの時間に軸力を測定している訳ではない。例えば、文献8)9)では0.75, 2, 4, 8, 24hで計測を実施しており、一部のデータは整理できないことは理解いただきたい。残存率差の集計結果およびこれらの分布を図4に示す。なお、これらのデータにおいて、2h, 3hでの計測実施があるなど計測時間は様々であり、1~2h, 1~3hに分けて示している。無機ジンクにおいて、0~0.5hでは軸力低下が大きいことは3. (1)でも述べたが、標準偏差も大きい(ばらつきが大)ことが判る。0.5~1hにおいては、標準偏差は小さくなったが(0~0.5hの1/2以下)、残存率差は0.77%ptと小さいとは必ずしも言えない。しかしながら、1hを超えれば、標準偏差および残存率差の両者で小さくなった。

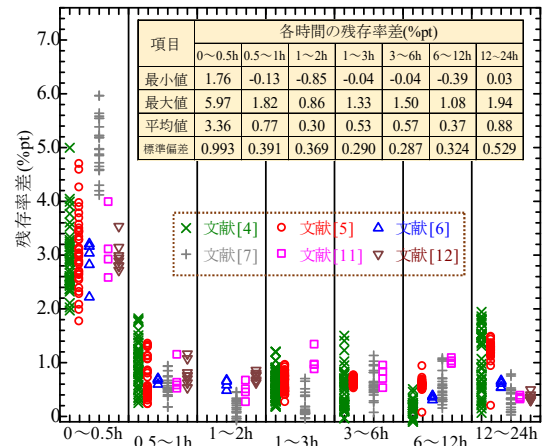


図4 残存率差(各時間の軸力残存率の差)

0.5~1hにおいては、標準偏差は小さくなったが(0~0.5hの1/2以下)、残存率差は0.77%ptと小さいとは必ずしも言えない。しかしながら、1hを超えれば、標準偏差および残存率差の両者で小さくなった。

(2) 試験実施時期の提案 図4で示したように、30分後までは軸力低下やばらつきは特に大きい。さらに、1時間後までは軸力低下が認められるが、ばらつきは小さくなる。その後も軸力低下は認められるが、1時間までの低下と比較すると小さい。すなわち、1時間以降であれば、ばらつきは小さく安定した微小な軸力低下となる。これらを踏まえると、試験実施時期はボルト締付けから1時間以降であれば、軸力低下やばらつきは小さく、試験上のばらつきも小さくなると考えられ、その後の軸力低下挙動を考慮すれば、1時間以降に試験を実施してもよいと考えられる。なお、軸力低下が大きい無機ジンク面による検討は安全側での提案と考えている。

(3) 算定軸力の提案 試験実施時期は1時間以降としても、ボルト軸力は徐々に低下していく。このため、試験実施時期を考慮し、その時の推定される軸力ですべり係数を算定するのがよいと考えられる。算定軸力は、導入軸力に対して、表2で示した接触面毎の軸力残存率を掛け合わせたボルト軸力で行うのがよいと考えられる。

5. まとめ

すべり耐力試験の実施は、ボルト締付け後1時間以降とし、すべり係数算定の軸力は、リラクセーションによる軸力低下を考慮し、導入軸力に対して、表2の軸力残存率を掛け合わせた軸力で行うのがよいと考えられる。

謝辞: 駒井ハルテックの吉岡夏樹氏から文献15)のデータを提供いただいたことに対し、感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 土木学会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)，2006.12.
- 2) 日本建築学会：鉄骨工事技術指針・工場製作編，2018.
- 3) 日本建築学会：高力ボルト接合設計施工ガイドブック，2016.
- 4) 南：厚膜型無機ジンクリッチペイントを施した摩擦面で15%増し締めした高力ボルト試験，土木学会論文集A1, Vol.73, No.1, pp.32-39, 2017.1.
- 5) 南：厚膜型無機ジンクリッチペイントを施した高力ボルト継手における導入軸力の影響の考察，土木学会論文集A1, Vol.74, No.1, pp.58-63, 2018.1.
- 6) 南，田村，吉岡，内田，茂呂，安藤：高力ボルト継手における摩擦面の数に応じた導入ボルト軸力に関する検討，土木学会論文集A1, Vol. 75, No. 1, pp. 46-57, 2019. 2.
- 7) 筒井，南，横山，藤野：F10TWにおけるナット回転法の適用に向けた導入軸力試験，土木学会第87回年次講演会I-94, 2020.9.
- 8) 田村，南，吉岡，内田，茂呂，濱，平尾：仕様の異なる接触面を含む高力ボルト摩擦接合継手の適用性，土木学会論文集A1, 土木学会論文集A1, Vol.76, No.2, pp.255-274, 2020.6.
- 9) 和，田村，南，内田，吉岡，茂呂，濱：母板と連結板で接触面が異なる高力ボルト継手に関する追加検討，土木学会第75回年次講演会I-97, 2020.9.
- 10) 福岡，安井，山下：長孔・拡大孔を有する継手のすべり試験，橋梁と基礎Vol.28.No.7, pp46-50, 1990.7.
- 11) 平井，福田，堀園：シンクリッチペイントを施した高力ボルト摩擦接合部に関する実験的研究，西日本工業大学紀要, Vo.23, pp46-54, 1993.
- 12) 清水，石崎：仕様の異なる摩擦接合面の継手性能に関する試験報告，土木学会第67回年次学術講演会I-340, 2012.9.
- 13) 中村，城島：摩擦接合高力ボルトにせん断孔を用いた実験報告，東骨技報, No.23, pp22-27, 1987.6.
- 14) 中村，柳沼：摩擦接合高力ボルトにせん断孔を用いた実験報告(第2報)，東骨技報, No.27, pp49-57, 1988.9.
- 15) 吉岡，橋，岡田：高力ボルト摩擦接合継手への改良した錆促進剤の適用に関する検討，駒井ハルテック技報Vo.7, pp45-52, 2017.